引用格式：杨中楷，林德明，梁永霞. 技术科学的学科体系、学术体系与话语体系. 中国科学院院刊, 2023, 38(4): 614-621

Yang Z K, Lin D M, Liang Y X. Disciplinary system, academic system and discourse system of technological sciences. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(4): 614-621

技术科学的学科体系、学术体系与话语体系

杨中楷[1]　林德明[1]　梁永霞[2*]
1 大连理工大学 科学学与科技管理研究所 大连 116024
2 中国科学院文献情报中心 北京 100190

摘要　1957年，钱学森在《科学通报》发表了《论技术科学》一文，从此奠定了中国技术科学研究的基点。但此后的60余年中，技术科学思想几番浮沉，未能得到稳定的重视和支持。及至2021年，习近平总书记在中国科学院第二十次院士大会、中国工程院第十五次院士大会、中国科协第十次全国代表大会上对技术科学做出了重要论述，技术科学迎来了新的历史机遇期。在习近平总书记重要论述的指导下，文章从学科体系、学术体系和话语体系3个维度对技术科学进行学术化阐释，为我国科技创新事业的发展提供决策参考和知识体系支撑。

关键词　技术科学，学科体系，学术体系，话语体系，自主知识体系

“技术科学”一词在我国的出现，源自1957年钱学森在《科学通报》发表的论文《论技术科学》[1]，在该文中明确提出了一个新的知识部门：技术科学。郑哲敏[2]认为：“技术科学的兴起、发展和繁荣是20世纪世界科学技术史的大事。”从世界范围来看，虽然“技术科学”的提法在欧美并不流行，但事实上美国之所以能成为全球科技强国，却是与该国技术科学的发展和强盛密不可分[3]。那么，为什么60年前已经提出的先进思想未能很好地实现呢？“总的来讲，是科学界、政府和民众对技术科学的性质、作用没有充分的认识。”[2]

2021年5月28日，习近平总书记在中国科学院第二十次院士大会、中国工程院第十五次院士大会、中国科协第十次全国代表大会上指出：“现代工程和技

*通信作者
资助项目：国家社会科学基金重大项目（20&ZD074）
修改稿收到日期：2023年3月29日

术科学是科学原理和产业发展、工程研制之间不可缺少的桥梁，在现代科学技术体系中发挥着关键作用。要大力加强多学科融合的现代工程和技术科学研究，带动基础科学和工程技术发展，形成完整的现代科学技术体系”，“努力构建中国特色、中国风格、中国气派的学科体系、学术体系、话语体系”。习近平总书记重要论述提出了新时期如何更好地发挥技术科学的桥梁作用、形成完整的现代科学技术体系的时代命题，需要学界来解答。

基于此，本文将按照技术科学的学科体系、学术体系、话语体系3个维度进行重新阐释。阐释的目的一方面是廓清对技术科学的模糊认识，正确认识基础科学、技术科学和工程技术的关系，以更好地发挥技术科学在我国科技创新实践中的重要作用；另一方面则是希望建构基于技术科学的中国科技创新自主知识体系，为我国科技创新实践提供理论指导，也为科技创新的全球话语体系做出中国贡献。

1 技术科学的思想来源

1936年，钱学森到加州理工学院攻读博士，其导师是世界力学大师冯·卡门教授。冯·卡门是美国近代应用力学奠基人，也是德国技术科学的先驱者普朗特的学生。冯·卡门的科研和教学实践充分体现了技术科学的思想。钱学森在冯·卡门的指导下，创造性地提出要把科研成果和工程经验结合在一起，在科学和工程之间架起一座“桥梁”。这是他技术科学思想的实践源泉[4]。1957年，钱学森在全国首届力学学术会议作了主题报告《论技术科学》[1]，后将此报告改写为论文发表在《科学通报》上，引发了强烈的反响。在这篇文章中钱学森首先提出“基础科学—技术科学—工程科学（工程技术）”3个层次理论。

作为钱学森的学术通信伙伴，刘则渊[4]对钱学森的技术科学思想进行了非常深入的研究，对基础科学（自然科学）、技术科学和工程科学的概念，以及区别与联系做出了精辟的论述（表1）[4]。

技术科学思想的形成在早期是缺乏哲学理论基础的，属于经验层次的实践总结。钱学森认真学习了《实践论》《矛盾论》等马克思主义哲学思想论著之后，对于技术科学的认识和理解上升到哲学高度。钱学森[5]认为，技术科学连同与之密切关联的自然科学和工程技术活动一起，都以马克思主义哲学为其指导思想。在马克思主义哲学和基础科学之间有一个中介哲学原理，那就是自然辩证法。自然辩证法广义上虽属于马克思主义哲学范畴，但其在认识世界、改造世界以及推动科学技术发展等方面的作用使其可以被作为独立的范畴而列入科学技术知识体系之中。

按认识世界和改造世界的介入程度不同，可以将科学技术体系划分为若干纵向层次：马克思主义哲学—自然辩证法—基础科学—技术科学—工程科学（工程技术的知识形态）—工程技术活动（图1）。从各层次的属性和功能来看，从上到下改造世界的实践性、特殊性逐渐增强，愈加面向具体的工程技术实践；相邻的两层之间，上层都是下层的理论基础，下层都是上层的具体应用。

2 技术科学的学科体系

作为一个普遍概念，技术科学一词有着较为丰富的外延。就像自然科学包括物理学、化学、生物学等学科一样，技术科学同样可以列出一长串学科名单。在《论技术科学》[1]一文中，钱学森以力学、流体力学和固体力学为例对技术科学的内涵进行了阐释，并且列出了一系列技术科学的学科名单。

参照钱学森举出的范例，结合技术科学的内涵、外延及其在科学技术体系中的地位，绘制技术科学的学科体系图（图2）。如图2所示，技术科学的学科体系大致分为3个方面。

表 1　基础科学、技术科学、工程科学的区别[4]

Table 1　Differences among basic science, technological sciences, and engineering science[4]

	基础科学	技术科学	工程科学
定义	关于自然界物质运动形式的普遍规律和理论的学问	关于人工自然过程的一般机制和原理的学问	关于设计和建造特定人工自然过程的专门技术学问
对象	自然界	人工自然、技术活动	人工自然、工程建设活动
性质	知识形态生产力，知识的高度普遍性，整个自然科学的基石	基础科学知识向现实生产力转化的中介，工程技术的基础	解决直接现实生产力，知识的高度实用性与专业性
目的	认识自然，揭示自然规律	改造自然，认识人工自然规律，揭示同类技术的原理	改造自然，建造人工自然
学科	数学、物理学、化学、生物学、地质学、天文学等	应用力学、工程物理、电子学、机械原理、化工原理等	机械工程学、化学工程学、电子工程学、水利工程学等
方法	科学实验、科学假说、公理系统、直觉、数学	科学实验、技术试验、数学	工程试验、工程设计与建造
逻辑	个别到一般	唯象理论、一般到个别、特殊到普遍	依据标准、规范、规程，一般到个别，普遍到特殊
成果	论文、发现自然现象、发现科学定律、假说	论文、技术原理、发明专利、实验报告、试验装置、模型	论文、专利、工程设计、工程建设方案、标准、工艺、技术产品
评价	实验标准：检验真理性、论文水平与被引次数、社会效果	实验标准：检验原理正确性、论文学术水平与被引次数、广泛实用性、潜在经济价值	试验标准：工程可行性、专利转让、多元价值标准

2.1 基于自然科学理论、作为工程科学共性基础的普通技术科学

这一类中主要包括技术科学核心的学科，是介于基础科学和工程科学（技术）中间的相关学科。此类学科源于自然科学的研究成果，或在自然科学转化为工程技术的过程中产生，或由工程技术实践反哺自然科学所激发，为工程技术实践提供理论支持和知识支撑。当然，不同的工程技术领域中个性技术和共性技术难以区分得非常清楚，技术科学各个学科之间也存在着交叉、重叠等现象，其边界也不是非常明显的。

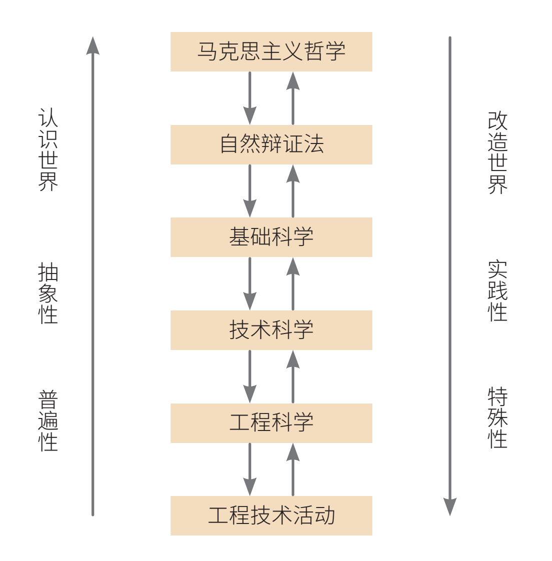


图 1　科学技术知识体系的纵向结构

Figure 1　Vertical structure of scientific and technological knowledge system

2.2 横跨自然科学、技术科学和社会科学的方法性的横向技术科学

在将技术科学的基本原理运用到工程技术实践的过程中，还需要辅之以相关的技术性学科。工程技术实践需要考虑可靠性、稳定性等多方面的指标约束，也需要开展技术预见、技术决策等必要的工程技术管理活动。像技术预见、决策（有社会科学方法的应用），以及工程可靠性、稳定性等学问具备普遍性，也已形成较为成熟和正规的知识体系，可将其称为横向技术科学，归入广义技术科学的学科范畴。

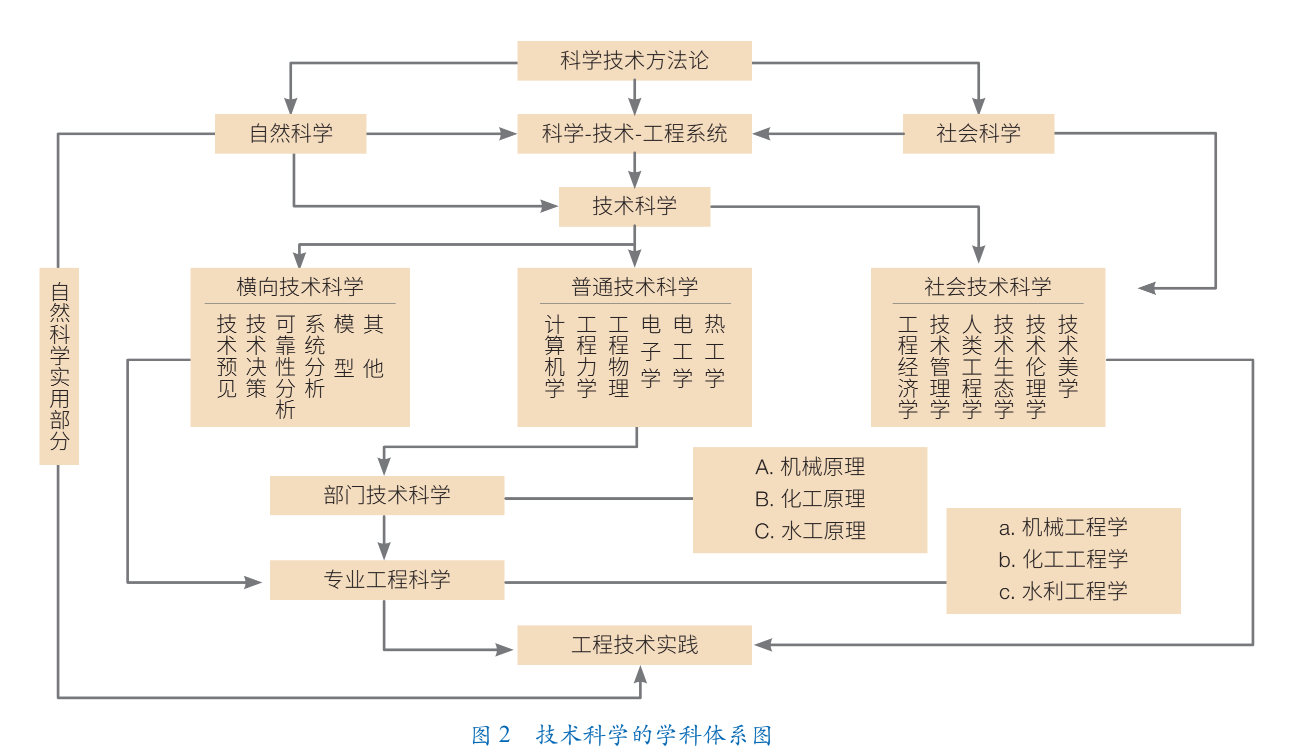


图 2　技术科学的学科体系图

Figure 2　Disciplinary system diagram of technological sciences

2.3 由自然科学、技术科学与社会科学相互交叉渗透形成的社会技术科学

钱学森指出："其实技术科学对其他科学的贡献还不仅限于自然科学……，部分的还踏入了社会科学的领域中去了。"随着工程技术实践中社会问题的不断出现，社会科学正在且已经融入了工程技术活动之中。比如，工程技术活动的经济学管理学研究、工程技术对自然界的影响研究等，既超越了原有的社会科学研究范畴，又有力地保障了工程技术活动与人、社会和自然界的和谐，也被归入广义的技术科学范畴。

3 技术科学的学术体系

目前，学术界一般认为学术体系应包括理论知识体系和研究方法体系两大部分。理论知识体系包括概念、思想、观点、学说、知识、原理等方面，研究方法体系强调解题思路、策略、技术、程序、工具等。具体到技术科学的学术体系，应该包括技术科学的知识表现形态和技术科学的科学研究方法两部分内容。

3.1 技术科学的知识形态

技术科学把自然科学基础理论变为一般技术原理的概念体系，包括一系列技术术语与技术规律，用以描述某一类人工自然过程与人工物质实体，从而为创建具体的人工过程或技术装置提供了理论根据。其知识一般表现为 3 个形态[6]。

（1）*一般技术概念与原理。*关于某一类人工自然过程的技术概念与原理。例如，把流体力学普遍规律变为较为普遍的各类叶轮机械的三元流动规律；把固体物理学关于固体结构与相变的普遍规律应用于金属中所建立的金属结构、组织及相变的一般技术原理。

（2）*技术实验的一般理论。*例如，建立一般叶轮机械的实验装置及模拟叶轮机械运行中的流体运动的相似理论及其他相关理论。

（3）*应用数学及模型方法。*例如，对一般技术原理(如叶轮机械三元流动规律)定量表述的有关应用数学方法，以及对一般技术装置或实验装置中人工过程描述的数学模型工具。

3.2 技术科学的科学研究方法

从历史经验来看，19 世纪下半叶—20 世纪上半叶，热机技术使热力学理论建立起来，工程热力学又使热机效率大大提高。20 世纪下半叶，在光的受激辐射理论指导下，产生了激光技术原理，推动了激光技术发展，而激光技术的突飞猛进，又促进了激光科学不断丰富和完善。

从宏观上来看，技术科学知识的形成有两条路径：① 将工程技术实践中的经验技术知识上升到理论形态，反过来促进工程技术实践；② 将自然科学的基本理论向工程技术活动延伸，指导工程技术实践（图 3）。

从微观上看，钱学森[1]在《论技术科学》一文中给出了技术科学科学研究的方法和步骤。第一步：对所研究问题的认识。即什么是问题中现象的主要因素，什么是次要因素。运用自然科学的规律，在复杂的资料中找到一条路径。这条路径代表了对现象机理的充分了解，对问题的深刻认识。第二步：建立模型。基于机理抓住主要矛盾，忽略次要矛盾，构造出模型。在构造模型的过程中，要彻底掌握自然科学的规律，知道原则上什么是可行的，什么是不可行的。第三步：分析和计算。基于自然科学规律和数学方法进行推演，将模型和演算得出的具体数据与事实比较，对理论进行考验。钱学森强调：技术科学是从实践的经验出发，创造出工程设计的理论。在这个过程中存在的很多经验问题和实践问题，必须和工程师多联系。

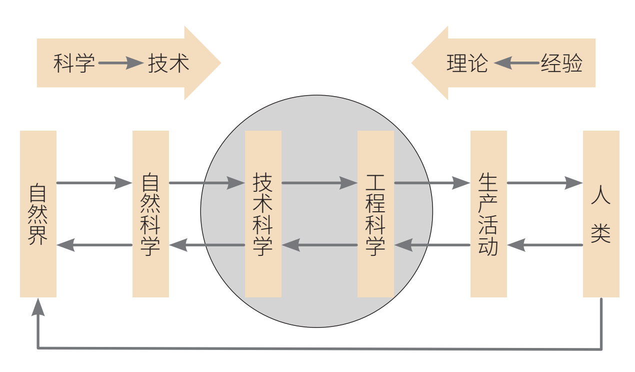


图 3　技术科学知识的形成路径

Figure 3　Forming path of technological sciences knowledge

4 技术科学的话语体系

话语体系一般是指思想理论体系和知识体系的外在表达形式。从这个角度看，技术科学概念的提出，丰富了科学技术体系的话语体系，在基础科学和工程技术之间增加了一个新的话语概念——技术科学。围绕技术科学衍生出科学学、社会技术科学、综合技术科学、横向技术科学、技术科学家、新巴斯德象限等一系列新概念范畴，共同组成了技术科学的话语体系。与学科体系和学术体系不同，前两者主要以客观的学术研究为主，而话语体系不单纯是一个客观的概念范畴，还具备着较强的价值属性，需要放在全球和本土的发展视野中进行审视和判断。

4.1 “技术科学”是具备超越性和先进性的本土化话语概念

（1）“技术科学”超越了万尼瓦尔·布什对于基础科学研究的论述。1945 年 7 月，时任美国科学研究发展局局长的万尼瓦尔 · 布什（Vannevar Bush），完成著名的报告《科学：永无止境的前沿》；该报告论述了如何在和平时间开展科学研究，提升美国的科学研究水平。该报告中有两句重要的话语：“基础研究的实施不考虑实际结果”；“基础研究是技术进步的先驱”。钱学森的技术科学思想则指出：仅靠基础研究无法直接推动工程技术创新，必须发挥技术科学的桥梁作用才能做到。

（2）“技术科学”弥补了司托克斯的巴斯德象限理论的不足。冷战时期，苏联卫星上天，引起美国朝野震动；20 世纪 70 年代前后日本经济起飞与工业高速增长，使得美国感受到了竞争威胁。美国人开始认识到基础研究固然重要，但许多技术的重大突破并不直接源于纯基础研究。在此背景下，1999 年司托克斯出版《基础科学与技术创新：巴斯德象限》，指出了布

什的线性研发模型的缺陷，提出了巴斯德象限的概念（应用引发的基础研究）。与巴斯德象限概念相比，技术科学象限不但包含了应用引发的基础研究，还包括基础导向的应用研究，这个比巴斯德象限更丰富的科技象限被刘则渊和陈悦[7]称之为新巴斯德象限，也就是技术科学象限。

（3）“技术科学”是我国具有代表性的本土化科技创新理论和话语。习近平总书记指出，“要加快构建中国话语和中国叙事体系，用中国理论阐释中国实践，用中国实践升华中国理论”。“技术科学”虽发源于国外，但经过钱学森的重新阐释，以及郑哲敏等科学家和刘则渊等哲学社会科学学者的继承和创新，已然成为中国科技创新实践的重要理论指导。它与“原始创新”“集成创新”“消化吸收再创新”“科技创新”“科技自立自强”“科技创新双循环”[8]等中国本土的科技创新实践活动有着较好的逻辑自洽性。

4.2 我国科技创新实践中的技术科学话语表达的缺失

技术科学在我国的科技创新实践中大致有 3 个阶段的表达场景。第一个阶段，20 世纪 50 年代初，中国科学院在成立不久后设立了技术科学部，此举是受到苏联时期国外技术科学发展的影响；第二个阶段，1957 年钱学森系统地论述了技术科学思想，推动了“两弹一星”工程的成功，“技术科学”在我国的科技规划中也多次得到体现；第三个阶段，21 世纪至今，尤其是 2009 年钱学森逝世前后，直至 2021 年习近平总书记对“工程和技术科学”进行了重要论述。

李春成[9]用我国科技规划中“技术科学”一词的出现频次（表 2）研判认为：在 20 世纪中期左右，技术科学相关话语多次出现在我国各类科技规划当中；但是，20 世纪 90 年代初是一个转折点，其出现频次变低。这种局面应该是随着我国科学技术发展不断对外开放的过程中，逐渐开始使用《弗拉斯卡蒂手册》中的 3 类研究（基础研究、应用研究、开发研究）分类。而正如前文所述，基础研究与应用研究的边界已然模糊，此分类固然对于统计科学研究数据较为方便，但是却难以适应科技创新的快速发展和科技自立自强的战略要求。2018 年，时任中共中央政治局委员、国务院副总理刘鹤出席机器人大会时专门提到了“巴斯德象限”，前瞻性地强调了在人工智能、大数据时代发展技术科学的重要性。

话语的缺失能够折射现实的无奈，发动机、芯片、工业软件——当前我国国际科技竞争中的众多“卡脖子”问题，大都可以归于：技术科学长期缺位，导致基础研究和工程技术创新之间缺乏桥梁型人才，科学和技术出现断裂。一个值得注意的改革措施是，国家自然科学基金委员会将其原有 9 个学部整合为“基础科学、技术科学、生命与医学、交叉融合”4 个板块，希望此举能够引起连锁反应，推动我国科学技术事业的快速发展。

5 展望：一阶和二阶技术科学的未来

科学计量学之父普赖斯在《科学的科学》中指出：科学的科学，如同历史的历史一样，是一项具有头等重要性的二阶主题（second-order subject），也可

表2　我国科技规划中技术科学及相关用词的变化（单位：次）[9]

Table 2　Changes in technological sciences and related terminology in science and technology planning in China (Unit: times)[9]

相关用词	1956—1977年	1978—1989年	1990—2000年	2001—2010年	2011—2015年	2016—2020年
技术科学	27	38	4	6	7	2
应用研究	0	41	74	9	32	37
应用基础研究	0	7	29	4	5	12
合计	27	86	107	19	44	51

称为二阶科学。显然，技术科学家从事的具体技术科学某门学科，是一阶主题（first-order subject），也可称为一阶技术科学。例如，钱学森参与发展的空气动力学，创立的工程控制论、物理力学、系统科学等，均属于技术科学的一阶主题。而钱学森的《工程与工程科学》《论技术科学》2篇文章，通过对技术科学一阶主题各种形态的研究，揭示了技术科学的共性特征、科学技术体系的"基础科学—技术科学—工程技术"层次结构、技术科学在科学技术体系中的中介桥梁作用，可称之为二阶技术科学。二阶技术科学从学科属性来看，可归于科学学的学科领域，主要针对科学技术发展规律及其对经济社会发展的作用等问题展开研究。

无论是一阶的技术科学和二阶的技术科学，都关乎着我国科技创新事业的发展，也关乎着技术科学的未来。鉴于此，提出2点建议。

（1）将一阶技术科学作为科技创新重要组成部分。按照钱学森的技术科学思想，技术科学是基础科学和工程技术的"桥梁"；单纯依靠纯基础科学（如玻尔的工作）不能直接产生创新成果，单纯依靠工程技术（如爱迪生的工作）也很难实现原始创新，只有依靠技术科学连通基础科学和工程技术才具有真正的自主创新功能。要在充分认识当今科技发展大势的层面上，发挥技术科学的桥梁、中介作用，释放基础科学的源头作用，以实现工程技术层面的创新，真正把创新驱动发展战略落到实处。因此，社会各界要做到高度重视技术科学的发展，把实现科技自立自强、建设现代化科技强国落脚在技术科学的基点上。

（2）将二阶技术科学作为科技创新自主知识体系重要范畴。2022年4月25日，习近平总书记在考察中国人民大学时指出："加快构建中国特色哲学社会科学，归根结底是建构中国自主的知识体系"。"创新"的概念由西方学者提出，在西方工程技术实践中得到发展，其学科体系、学术体系和话语体系主要由西方人掌握。我国自提出实施科技创新战略以来，已取得了较为丰硕的实践成果，但始终未能建立起本土科技创新理论体系和指导体系。技术科学思想既具备自主性和本土特色，在中国科技创新实践中也已经得到成功验证，对打破西方基础研究、应用研究的话语体系也具备较强的战略价值，理应在我国科技创新自主知识体系中得到应用，作为一个重要的概念范畴纳入其中。

参考文献

1 钱学森. 论技术科学. 科学通报, 1957, 8(3): 97-104.
Qian X S. On the technological sciences. Chinese Science Bulletin, 1957, 8(3): 97-104. (in Chinese)

2 郑哲敏. 关于技术科学与技术科学思想的几点思考. 中国科学院院刊, 2001, 16(2): 132-133.
Zheng Z M. Some thoughts on technology science and technology science thought. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2001, 16(2): 132-133. (in Chinese)

3 冯之浚, 张念椿. 技术科学研究的重要作用. 科研管理, 1980, (1): 9-19.
Feng Z J, Zhang N C. The important role of technological sciences research. Science Research Management, 1980, (1): 9-19. (in Chinese)

4 刘则渊. 技术科学与国家创新驱动发展战略——学习钱学森的技术科学思想. 钱学森研究, 2018, (2): 30-46.
Liu Z Y. Technology Sciences and National Innovation-driven Development Strategy—Learning Qian Xuesen's thoughts on Technological Sciences. Qian Xuesen Research, 2018, (2): 30-46. (in Chinese)

5 钱学森. 科学学、科学技术体系学、马克思主义哲学. 哲学研究, 1979, (1): 20-27.
Qian X S. Science of science, science-technology system, Marxist philosophy. Philosophical Research, 1979, (1): 20-27. (in Chinese)

6 刘则渊. 现代科学技术与发展导论. 大连: 大连理工大学出版社, 2003.
Liu Z Y. Introduction to Modern Science & Technology and Its Development. Dalian: Dalian University of Technology Press,

2003. (in Chinese)

7 刘则渊, 陈悦. 新巴斯德象限：高科技政策的新范式. 管理学报, 2007, 4(3): 346-353.

Liu Z Y, Chen Y. New Pasteur's quadrant: New paradigm of high-tech policies. Chinese Journal of Management, 2007, 4(3): 346-353. (in Chinese)

8 杨中楷, 高继平,梁永霞. 构建科技创新"双循环"新发展格局. 中国科学院院刊, 2021, 36(5): 544-551.

Yang Z K, Gao J P, Liang Y X. Build new development pattern of "Double Cycle" of scientific and technological innovation. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(5): 544-551. (in Chinese)

9 李春成. 技术科学发展回顾、规划理念与政策展望. 创新科技, 2021, 21(7): 1-10.

Li C C. Review of technological science development, planning concepts and policy outlook. Innovation Science and Technology, 2021, 21(7): 1-10. (in Chinese)

Disciplinary System, Academic System and Discourse System of Technological Sciences

YANG Zhongkai[1] LIN Deming[1] LIANG Yongxia[2*]

(1 Faculty of Humanities and Social Sciences, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2 National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract In 1957, Tsien Hsue-shen published an article entitled "On the Technological Sciences" in *Chinese Science Bulletin*, which laid the foundation for the research of technological sciences in China. However, in the following 60 years, the thought of technological sciences failed to receive stable attention and support. It was not until 2021 when General Secretary Xi Jinping made another important statement at the 20th Academician Conference of the Chinese Academy of Sciences, the 15th Academician Conference of the Chinese Academy of Engineering, and the 10th National Congress of the China Association for Science and Technology that technological sciences had entered into a new period of historical opportunity. Under the guidance of General Secretary Xi Jinping's important discourse, the study provides an academic interpretation of technological sciences in three dimensions: disciplinary system, academic system and discourse system, in order to provide decision-making reference and knowledge system support for better guiding the development of science and technology innovation in China.

Keywords technological sciences, disciplinary system, academic system, discourse system, independent knowledge system

杨中楷 大连理工大学人文与社会科学学部教授、博士生导师。主要研究方向为科技政策与知识产权。E-mail: email@dlut.edu.cn

YANG Zhongkai Professor and Doctoral Tutor at Faculty of Humanities and Social Sciences of Dalian University of Technology. His main research direction is science and technology policy and intellectual property rights. E-mail: email@dlut.edu.cn

梁永霞 《中国科技期刊研究》编辑部主任、副研究馆员、编审。主要研究方向：科学计量学、引文分析、科学知识图谱、期刊评价与管理等。E-mail: liangyx@mail.las.ac.cn

LIANG Yongxia Editorial Director of *Chinese Journal of Scientific and Technical Periodicals*, Associate Research Librarian, and Senior Editor. Her current main research interests include scientometrics, citation analysis, knowledge mapping, and journal evaluation and management. E-mail: liangyx@mail.las.ac.cn

■责任编辑：岳凌生

*Corresponding author